

人造石材纹理采用磁性胶体粒子制作及配套设备探析

彭健锐

(佛山慧谷科技股份有限公司 广东 佛山 528000)

摘要:人造石材纹理多为模仿天然石材的通体纹理,纹理发色直接影响其价值,而目前人造石材的工艺办法主要是通过化学着色,方法一是将染色的原料通过搅拌打散等物理办法形成一定形状,再用人工或者机械设备填料或者分散到底色的原料里面,这种办法耗费人工或者设备昂贵,虽能做出通体纹理,但大部分的纹理显得呆板且生硬;又或者采用喷墨打印,模仿天然石纹理将色料渗透到基底人造石板材的表层,但无法实现天然石材般通体纹理;同样地,化学着色会受到氧化和脏污等影响其纹理寿命。本文采用在原料粘结剂中混合能形成永久物理结构色的磁性胶体粒子,用可控的矩阵磁场结合加热板的办法,使得胶体粒子可控的自组装或者分解,实现区别于以往的人造石材或者天然石材纹理的结构色通体纹理,并且随粘结剂的固化而使得结构色彩固定,优化提高人造石材的价值的同时,实现纹理的柔性制作及缩短制作时间。

关键词:人造石材;磁性胶体粒子;光子晶体;结构色;纹理成型;电磁矩阵

1 人造石的纹理制作难题

人造石英石材以天然或者烧结的石英砂和石英粉、尾矿渣等无机材料(其主要成分均为二氧化硅)为主要原材料,添加一定量的有机粘合剂(不饱和树脂)或无机粘合剂(水泥)制成的人造石材,简称石英石或人造石英石。它是一种在真空条件下振动压制,而无需高温烧结的环保材料,其板材结构致密无孔、表里如一(通体纹理),硬度及其他性能指标均优于天然的花岗岩及大理石的复合建材。

天然石材(上)与人造石材(下)纹理对比如图1所示,人造石材纹理多为模仿天然石材,有称石材纹理为石材之魂的说法,纹理发色直接影响其价值。目前,市场追求含有复杂而富有美感的纹理的石材。以发色清新天然、纹理走向自然而流动感为佳。

目前,主流的工艺办法多通过对部分原料用耐候性较好的色料进行化学着色,常用色料有R902白、4920黄、酞青绿、酞青蓝、永固紫、大红粉、碳黑等^[1],通常将其添加在树脂中,制备成色浆对原料进行染色,或者直接加入到砂粉原料中混合后使用;染色的原料通过布料前打散混合到纯色基底原料里,或者布料中填入到预先开槽的基底原料槽内,如图2所示,实现板材纹理的布料。这种纹理的工艺办法可以实现表里如一(通体)的纹理,但除了某些分散纹理可以做出比较自然的效果,大部分都呆板而



图1 天然石材(上)与人造石材(下)纹理对比

生硬,且布料需耗费较多人力进行填料,或者使用昂贵而复杂的自动化设备。由于后续有真空震动压制和固化过程,会存在走样和变形,纹理仅在一定程度上可控。

目前,市面上的设备制作简单的几条线条的纹理需要5min,而复杂的纹理往往需要1h以上,生产效率低下。

通过扫描天然石材获取纹理样色,然后直接将

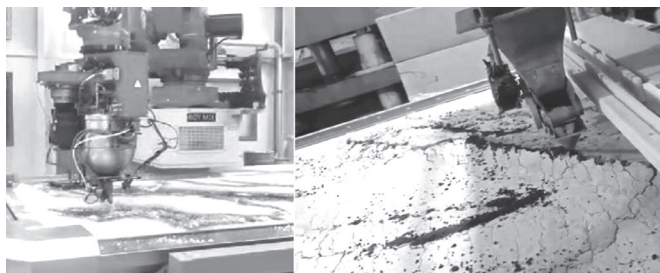


图2 机器人或数控设备开槽和填料到预先开槽的基底原料槽内

色料按照采集到的纹理图案打印或者热转印渗透在单色石英石石材成品上,如图3所示。通过这种工艺办法打印出来的纹理和天然石材相差无几,但只有表面很薄一层,一旦磨损或者老化将难以修复。目前,市面上高清打印喷头进行打印的时间多为单头 $0.2\text{m}^2/\text{min}$,即使采用目前先进的四头联动喷墨打印机,一张 5m^3 的整板仍然需要 6min 。

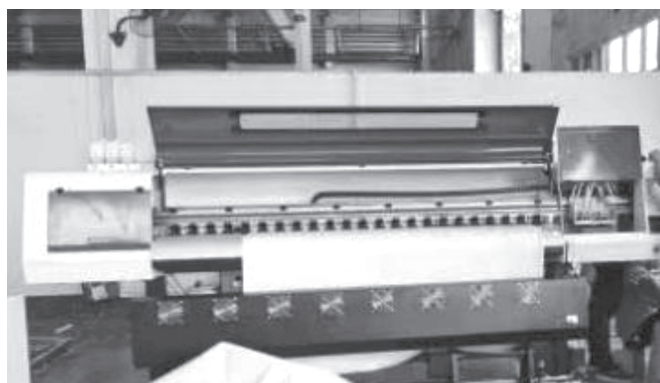


图3 热转印喷墨打印机

旨在寻找一种表现方式明显有别于天然石材或者现时人造石材的纹理,但又自然不生硬的通体纹理着色方法,且能用并不复杂的设备来实现,提高生产石材价值的同时,提高生产效率。

2 物理结构色的形成及利用

物体所显示颜色,按其原理分为化学色素色和结构色两种。色素色的产生是由于物体本身存在的色素引起的对不同波长光的选择性吸收、反射和投射特定频率的光所导致,如绿叶、鲜花、水果颜色等。如图4所示,结构色是一种由可见光与某些结构特征散射、衍射或干涉而产生的颜色,其特征是存在虹彩效应,物质结构是有序的,并且颜色会随着观察角度的变化而产生变化,如纤维紧密的肉类切面、翠鸟羽毛、蝴蝶翅膀等。色素色会由于色素分子与空气之间发生氧化反应而褪色;而结构色是由于可见

光与物质内部微观结构相互作用而产生的视觉效果,不但永不褪色,而且由于具有高亮度、高饱和度金属质感等特性深受关注。日本帝人公司通过模拟蝴蝶翅膀的微观构造,研究由两个不同折射率的涤纶(PET)和尼龙(PA)相互交织并重叠而成,最终产生的干涉效果呈彩色的布料^[2]。



图4 翠鸟羽毛结构色

光子晶体是一种具有光子带隙的材料,禁带范围很窄,在空气中可以呈现全反射现象,具有非常广阔的应用前景。因此,制备光子晶体成为研究者们的一大研究热点。

光子晶体的反射光的相干衍射如图5所示,迅速组装形成的光子晶体的结构生色,服从布拉格衍射定律。

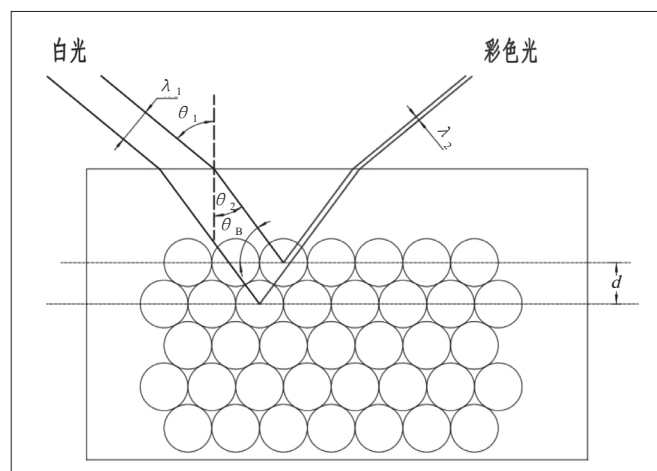


图5 光子晶体的反射光的相干衍射

光子晶体能够产生结构色是晶格周期性排列的直接结果,遵循光学中的布拉格衍射定律,方程式如式(1)所示:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (1)$$

式中： d —晶面间距；

θ —入射光与晶面间的夹角；

λ —入射光的波长；

n —衍射级数。

光子晶体的生色过程可归纳为：当光子晶体的禁带处在可见光波段（380 ~ 780nm）时，波长与之相当的电磁波不能进入而被光子晶体层选择性反射，进而在光子晶体表面产生相干衍射。发生干涉的反射光刺激视觉系统，便产生明亮艳丽的结构色。

最重要的是，光子晶体可以借助某些胶体粒子，通过一定的手动使其自组装，呈现出结构色。

如以下将提到的磁性胶体粒子 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ ，可通过磁场的分布和大小控制其自组装。将这种胶体粒子混合在粘结剂中，可以使其均匀分布到石材原料的每一个角落，从而实现通体，也可实现纹理的可控制作。

3 实现的工艺手段和设备

3.1 纹理的制作原理

通过光子晶体结构色呈现方式来实现石材纹理的表现方法，具体措施如下：

先将一定尺寸（通常为纳米级 400 ~ 600nm）有序组装排列时实现结构色的胶体微粒，如化学着色工艺一样混合在纯色石材原料的基体内部，可以使用传统的搅拌机械来实现这一目的，如此会得到有着通体结构色的板材基料。此时即可生产出满足整板的单结构纯色或者彩虹色的板材，可满足部分消费者的需求。

当消费者对板材纹理有进一步要求时，再通过一定方法诱导微粒在不需要显示纹理颜色的范围内进行结构破坏，结构被破坏的微粒不再显示结构颜色而呈现原来原料的颜色，而其他需要显示纹理颜色的部分则保持原有的结构色。通过这样形成通体的结构色纹理，再进行固化固定纹理色彩。

先将一定尺寸（通常为纳米级 400 ~ 600nm）未组装排列的胶体微粒，混合在纯色石材原料的基体内部，可以使用传统的搅拌机械来实现这一目的。然后局部位置或者整板位置通过一定的诱导，使得实现纹理处对胶体微粒自排列显现结构色，同时进行固化固定纹理色彩。

3.2 可诱导的结构色原料发色原理及色浆制作是关键

制备磁性胶体粒子 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 。通 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

为铁源，聚乙烯吡咯烷酮（PVP）为表面分散剂，用溶剂热解法制备顺磁 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}$ 胶体粒子，再用 SiO_2 包覆，获得 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 核心壳结构的胶体粒子，这种粒子表面存在较多数量的硅烷基，存在较高的粒子表面电荷密度，如图 6 所示，其特性可在磁场中迅速组装成光子晶体，光子带隙可在整个可见光范围内进行调谐^[3]。

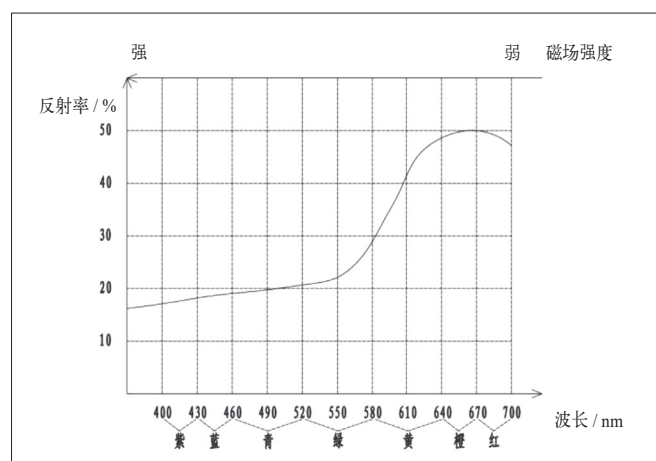


图 6 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 胶体溶液在外磁场强度变化时的反射光谱

将一定量的磁性胶体粒子 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 分散于不饱和树脂液中，组成有机胶体色浆料，应用于有机人造石；或者分散于水中，组成无机胶体浆料，应用于无机人造石。

如图 7 所示，用色浆搅拌机，将无机胶体的浆料与不饱和聚酯树脂、固化剂和偶联剂等（有机配方），或者与水、减水剂和增韧剂等（无机配方）混合，然后按照传统人造石材制作办法，通过搅拌机，将无机胶体浆料与树脂或者水的混合物，分散包裹原料颗粒使其粘连，而树脂添加固化剂，水泥添加水，压制成板后通过化学反应交联固化，使得原料颗粒粘结在一起，形成一定强度的板材。采用这种原理制作的板材，色浆所反射的颜色就是板材的颜色。未固化的板材其磁性胶体粒子 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 可以在色浆料中自由流动。

光子晶体含量约为千分之一左右，即可显示出饱满的结构颜色。

3.3 用于诱导结构色的磁场设备

两种形成纹理的措施，其使用的诱导手段主要使用可控制的磁场，矩阵磁场夹板装置如图 8 所示，其结构为一对上下布置的铝合金夹板，夹板中间夹缝用于放置板材。每块夹板内部为若干个成矩阵排



图 7 组合式称重控制色浆混合搅拌机

列的小型电磁铁，通过小型电磁铁通电与否决定该矩阵点是否有磁场，电流大小和方向决定磁场的大小和方向，且电磁铁间相互影响，在板间不同区间按程序形成渐变的磁场梯度。而上下夹板相同位置的磁场应一致，以保证磁场可以穿透板材，使得板材内磁性胶体粒子的变化通体一致。

当把含有磁性胶体粒子的但未固化的板材放置于夹板中，即可通过矩阵磁场的作用，使其快速生成光子晶体，或者改变、破坏其光子晶体结构，磁场施加时间持续至板材固化，同时夹板内通热油加速

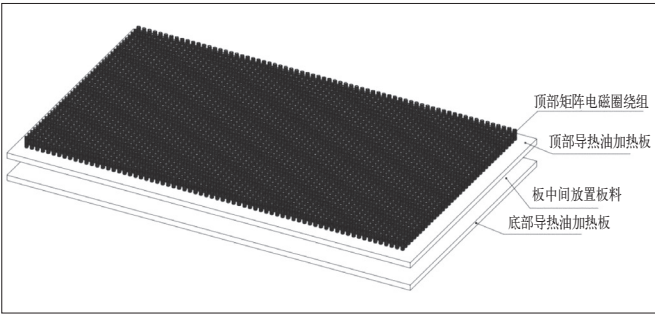


图 8 矩阵磁场夹板装置

板料固化，即可固定晶体结构和方向，粘结剂的强烈结合力可将结构颜色固定下来。

第一种纹理形成机理可离线先将磁性胶体粒子通过磁场预组装成光子晶体，预设颜色，过程可视，方便调整颜色，形成板材后、固化前再通过矩阵磁场对光子晶体进行破坏，仅需破坏则对磁场控制夹板的控制要求不高。

第二种纹理形成机理为在线固化的同时控制光子晶体的生成，对磁场控制夹板的控制要求很高，通过矩阵磁场直接控制纹理和色彩，效率较高。

由于色彩纹理的生成是在板材固化的过程中，因为板材固化视粘结剂的不同而不同，有机型热固树脂需要 45min，而无机型水泥则需要 8h 以上固化，所以将色彩纹理的生成整合在固化过程中，可以大幅减少纹理的制作时间。

4 结语

人造石英石采用磁性胶体粒子形成光子晶体产生结构色，直接从物理结构的层面控制板材颜色，而无需再像传统工艺考虑色料的寿命及色料的含量，也无需再考虑如何将不同颜色的色料分散在原料里面的色差问题，更不需要花费大量的人力或投资巨大的自动化设备来进行挖槽填料，仅需要通过磁场，即可如同喷墨打印机一样对颜色进行精确控制，甚至可以做出不同角度、不同颜色的效果，且获得通体的纹理，前景较好。

参考文献：

[1] 王玉梅，江夏．人造石英石生产工艺及常见问题的解决方案 [J]．佛山陶瓷，2015，25(12)：32-34.
[2] 吴蒙，盛善祥，刘亚明，等．结构色在纺织领域中的研究进展 [J]．印染，2023，49(04)：67-76.
[3] 韩平，陈昌浩，霍晓莉，等．磁响应 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVP}/\text{SiO}_2$ 胶体光子晶体的制备及光学性质 [J]．应用物理，2016，6(04)：54-62.

作者简介：彭健锟（1988.08-），男，汉族，广东佛山人，本科，工程师，研究方向：压板法人造石生产工艺及配套设备开发。